

選択型コンテンツの放送型配信システムにおける 帯域幅を考慮したスケジューリング手法の評価

藤田 拓郎[†] 後藤 佑介[†]

[†] 岡山大学大学院自然科学研究科 〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1

E-mail: [†] fujita@mis.cs.okayama-u.ac.jp, gotoh@cs.okayama-u.ac.jp

あらまし ユーザが視聴したいコンテンツを複数選択して順番に視聴する選択型コンテンツの放送型配信では、配信に使用できる帯域幅や配信するコンテンツの数に応じて、ユーザはコンテンツの再生時に待ち時間が発生する。この待ち時間を短縮するスケジューリング手法はいくつか提案されているが、ほとんどの手法では実際のネットワーク環境を想定して待ち時間を評価していなかった。我々の研究グループでは、スケジューリング手法を導入可能な選択型コンテンツの放送型配信システムを実現し、実際のネットワーク環境で既存のスケジューリング手法を用いた性能評価を行っている。本研究では、サーバが使用できる帯域幅を考慮して待ち時間を短縮するスケジューリング手法を実装し、これまでに実装したスケジューリング手法を含めた複数のスケジューリング手法による比較評価を行う。

キーワード 放送型配信, 選択型コンテンツ, 待ち時間, スケジューリング, 帯域幅

1. はじめに

近年、ユーザが視聴したいコンテンツを複数選択して順番に視聴する選択型コンテンツを放送型で配信する研究が注目されている[1]。選択型コンテンツの例として、択一式のクイズ番組が挙げられる。2 択のクイズ番組の場合、選択肢が提示され、ユーザは回答を選択する。ユーザの回答が正解であれば正解の映像を再生し、ユーザの回答が不正解であれば不正解の映像を再生する。このように、ユーザは、自身の好みに合ったコンテンツを選択して好きな順序で視聴できる。

選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは複数のコンテンツを一定の帯域幅で多くのクライアントにまとめて配信できるが、サーバが配信に使用できる帯域幅や配信するコンテンツの数に応じて、クライアントは再生中に待ち時間が発生する。待ち時間を短縮するスケジューリング手法はいくつか提案されているが、これまでのスケジューリング手法の評価はシミュレーション環境のみであった。そこで、実際のネットワーク環境でスケジューリング手法を利用するための配信システムを構築する必要がある。

実際のネットワーク環境を想定した配信システムにスケジューリング手法を適用する場合、二つの問題点が挙げられる。一つ目は、クライアントがデータの受信を要求してから再生を開始するまでの処理で発生する待ち時間を考慮していない点である。二つ目は、データ再生中の処理負荷が原因で発生するコンテンツ間の途切れを考慮していない点である。

我々の研究グループでは、上記で述べた問題点を考慮して、スケジューリング手法を導入可能な選択型コンテンツの放送型配信システムを実現し、実際のネッ

トワーク環境で既存のスケジューリング手法を用いた性能評価を行っている[2]。これまでの研究で、スケジューリング手法の導入による待ち時間の短縮効果は確認したが、複数のスケジューリング手法による比較評価は行っていなかった。本研究では、選択型コンテンツの放送型配信システムにおいて、サーバが使用できる帯域幅を考慮して待ち時間を短縮するスケジューリング手法を実装し、これまでに実装したスケジューリング手法を含めた複数のスケジューリング手法による比較評価を行う。

2. 選択型コンテンツの放送型配信

2.1. コンテンツ配信方式

選択型コンテンツの配信方法は、放送型とオンデマンド型の 2 種類が挙げられる。放送型配信では、地上波デジタル放送や衛星放送といった電波放送のように、一定の帯域幅を用いて多くのクライアントに同じデータをまとめて繰り返し配信する。サーバは、クライアントごとに発生する受信要求を処理する必要がないためサーバの負担を軽減できるが、クライアントは必要なデータが放送されるまで待つ必要がある。一方、オンデマンド型配信では、クライアントの受信要求に応じて帯域を割り当てる。サーバが配信に必要な帯域を確保できる場合、クライアントは待つことなくコンテンツを視聴できるが、帯域を確保できない場合、クライアントは視聴するコンテンツを選択してから再生が開始されるまで待つ必要がある。このため、クライアントの数が多い場合にはオンデマンド型よりも放送型が適しているといえ、本研究では放送型配信を想定する。

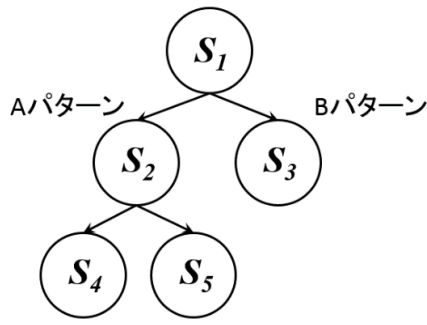


図1 視聴順序グラフ

2.2. 視聴順序グラフ

選択型コンテンツの放送型配信では、ユーザは複数のコンテンツを選択しながら続けて視聴するため、視聴するコンテンツに順序が生じる。一般に、ユーザは現在再生しているコンテンツが終了してから次のコンテンツを再生する。このため、選択型コンテンツの表記方法として状態遷移グラフが適している。本研究では、選択型コンテンツの視聴順序を表記する状態遷移グラフを視聴順序グラフと呼び、図1で表す。

ドラマ番組を例にして、図1の視聴順序グラフを説明する。サーバはドラマ番組を構成する5種類のコンテンツ $S_1, \dots, S_5$ を配信し、ユーザは最大2回の分岐を選択して最後まで視聴する。状態 S_1 が冒頭部分を再生している状態であり、 S_1 の再生が終了すると、Aパターンのシナリオである状態 S_2 、もしくはBパターンのシナリオである状態 S_3 に遷移する。 S_2 に遷移した場合、さらに二つの選択枝から選択し、 S_4 または S_5 に遷移する。 S_3 に遷移した場合、 S_3 の再生が終わると番組の視聴は終了する。

2.3. 単純手法

選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは複数のチャンネルでいくつかのコンテンツを同時に配信するため、配信するコンテンツの数が増加すると途切れのない再生に必要な帯域幅は増加し、再生中の待ち時間は長大化する。例えば、視聴順序グラフの深さに応じてチャンネルの帯域幅とチャンネルで配信するコンテンツを単純に決定する手法（以下、単純手法）を用いて、図1の視聴順序グラフを配信する場合の配信スケジュールを図2に示す。コンテンツの再生時間は60秒、チャンネルの帯域幅と再生レートはそれぞれ5.0 Mbps とする。また、時間の経過を右向きに示す。

単純手法では、視聴順序グラフにもとづき、サーバが複数のチャンネルを用いて各コンテンツを再生開始時刻と同時に放送を開始できるようにスケジューリングすることで、クライアントは途切れなく番組を再生できる。番組の放送が始まると、 C_1 では S_1, S_2, S_4 の順番で放送する。 C_2 では、配信開始時刻から S_3 の再生開

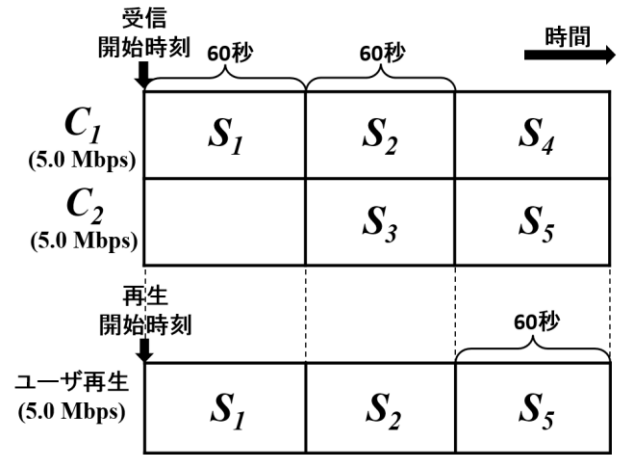


図2 単純手法の配信スケジュール例

始時刻までの最短時間である1分後までは何も放送せず、この後に S_3, S_5 を順番に放送する。

3. 待ち時間を短縮するスケジューリング手法

3.1. 概要

選択型コンテンツの放送型配信では、サーバは複数のコンテンツを一定の帯域幅で多くのクライアントにまとめて配信できるが、サーバが配信に使用できる帯域幅に上限がある場合や配信するコンテンツの数が大きく増加する場合、クライアントの再生中に待ち時間が発生する。待ち時間が長大化すると、クライアントの視聴意欲は低下するため問題であり、待ち時間を短縮する必要がある。そこで、実際のネットワーク環境で想定される配信条件を考慮して、どのコンテンツをどのタイミングで配信するかを定めた配信スケジュールをもとに、待ち時間を短縮するスケジューリング手法が提案されてきた[3,4]。以下で、既存のスケジューリング手法について述べる。

3.2. Contents Cumulated Broadcasting (CCB)法

CCB法[5]では、どの視聴順序を選択しても再生中に途切れが発生しないように配信スケジュールを作成する。また、単純手法の配信スケジュールでコンテンツを放送していない時間にスケジューリングすることで、CCB法で使用する帯域幅と放送時間の積を単純手法に比べて小さくする。

図1の視聴順序グラフをCCB法で配信する場合の配信スケジュールを図3に示す。サーバは番組の放送が始まると、 C_1 で S_1 と S_3 、 C_2 で S_2 と S_4 を各60秒放送し、 C_3 は S_5 を120秒放送する。このとき、サーバが放送に必要な帯域幅は $5.0 \times 2 + 2.5 = 12.5$ Mbps となる。

しかし、サーバが放送に必要な帯域幅が使用できる帯域幅を上回る場合、再生時に待ち時間が発生す

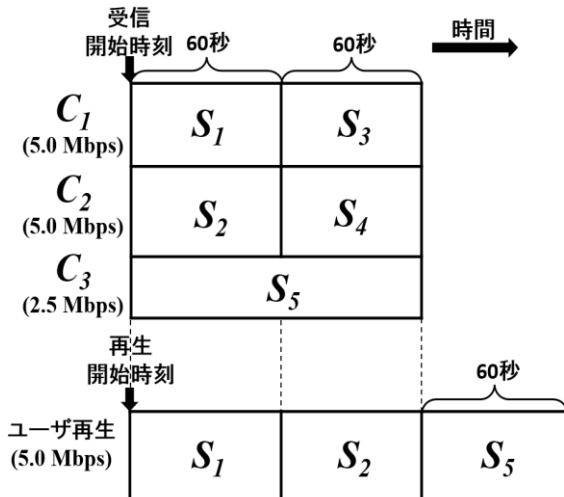


図3 CCB法の配信スケジュール例

る．例えば，使用できる帯域幅が 9.0 Mbps に制限されている場合，各チャンネルの帯域幅は $9.0 / 12.5 = 0.72$ 倍され， C_1, C_2 の帯域幅は $5.0 \times 0.72 = 3.6$ Mbps， C_3 の帯域幅は $2.5 \times 0.72 = 1.8$ Mbps となる．チャンネルの帯域幅が再生レートを下回ると，コンテンツの受信時間は再生時間より長くなる．このとき，コンテンツの再生を開始しても再生終了までの途切れが発生するため，途切れが発生しないように再生開始時刻を遅らせる必要があり，この遅延は再生時の待ち時間となる．例えば，図 3 の例において，ユーザが S_1, S_2, S_5 の順に再生する場合，再生時の待ち時間は 23.3 秒となる．

CCB 法の長所は，すべてのチャンネルで常にコンテンツを放送する点，および帯域幅に制限がない場合に待ち時間が 0 秒になる点である．短所は，帯域幅が異なるチャンネルが発生する点，視聴順序に分岐が多い場合に配信スケジュールの作成が困難になる点，および使用できる帯域幅に制限がある場合に待ち時間が発生する点である．

3.3. Contents Cumulated Broadcasting - Considering Bandwidth (CCB-CB) 法

図 1 の視聴順序グラフを CCB-CB 法[6]で配信する場合の配信スケジュールを図 4 に示す．CCB-CB 法では，再生レートと等しい帯域幅のチャンネルをできるだけ多く確保することで，必要となる帯域幅が使用できる帯域幅を上回る状況で CCB 法に比べて待ち時間を短縮する．例えば，使用できる帯域幅が 9.0 Mbps の場合， C_1 の帯域幅は 5.0 Mbps， C_2 の帯域幅は 4.0 Mbps となる．CCB-CB 法では，はじめに視聴順序グラフで根から葉までのスケジューリングの基準となる経路(以下，主順序)を一つ決定して， C_1 にスケジューリングする．図 4 では，視聴順序グラフの主順序として S_1, S_3 の経路を選択して， C_1 で順番に放送する場合の配信スケジ

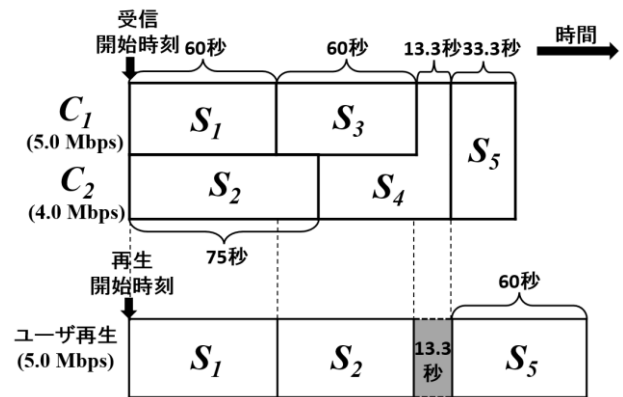


図4 CCB-CB法の配信スケジュール例

ジュールを示している． C_2 では， S_2 を 75 秒かけて放送した後， S_3 の再生終了時刻までの 45 秒間で S_4 を放送する．この後， C_1 と C_2 の帯域幅を合わせた計 9.0 Mbps の帯域幅を用いて， S_4 の残りを 13.3 秒間放送した後， S_5 を 33.3 秒間放送する．図 4 の例で，ユーザが S_1, S_2, S_5 の順番で再生する場合，再生時の待ち時間は 13.3 秒となり，CCB 法に比べて待ち時間を $(23.3 - 13.3) \times 100 / 23.3 \approx 42.9\%$ 短縮できる．

CCB-CB 法の長所は，すべてのチャンネルで常にコンテンツを放送する点，および使用できる帯域幅に制限がある場合に待ち時間を短縮できる点である．短所は，チャンネルの帯域幅が配信に変化する点，および配信スケジュールの作成が単純手法や CCB 法に比べて複雑である点である．

4. 選択型コンテンツの放送型配信システム

4.1. 概要

選択型コンテンツの放送型配信において，待ち時間を短縮するスケジューリング手法はいくつか提案されているが，これまでのスケジューリング手法の評価はシミュレーション環境のみであった．そこで，我々の研究グループでは，実際のネットワーク環境でスケジューリング手法を利用するための配信システムを構築してきた．これまでに，配信システムを構築するための課題として，(1) 付加情報の配信によるチャンネル間の配信スケジュールのずれ，および (2) 逐次再生方式の実現の二つがあった．これらの課題に対して，(1) では排他制御を用いたデータの配信契機の同期，および (2) ではコンテンツをセグメントと呼ばれる複数の部分に分割して配信する分割放送型配信により対処した．これまでの研究で，単純手法と CCB 法を配信システムに適用してきたが，実際のネットワーク環境で配信システムの実用性を高めるため，より多くのスケジューリング手法を適用する必要がある．本研究では，3.3 節で述べた CCB-CB 法を配信システムに適用する．

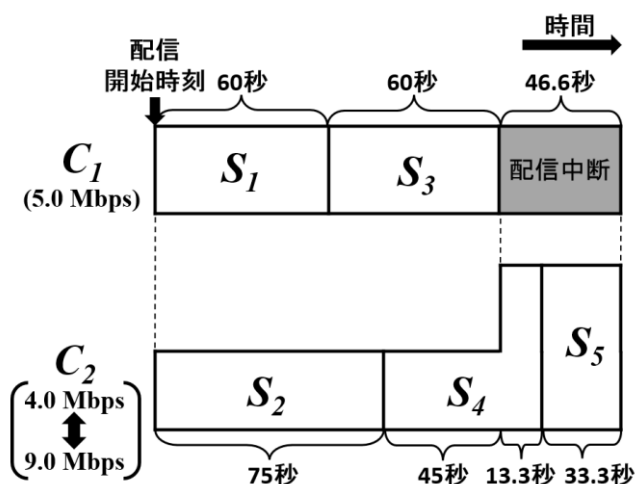


図5 チャンネル間の配信契機の同期による
CCB-CB法の配信スケジュール例

CCB-CB法を用いて配信システムの有用性を評価する場合、新たな課題に対処する必要がある。次節で説明する。

4.2. 課題

CCB-CB法を配信システムに適用するための課題として、放送中に変動するチャンネルの帯域幅への対処が挙げられる。図4の配信スケジュールでは、 S_4 の配信を開始してから45秒後に、 S_4 を配信するチャンネルの帯域幅が4.0 Mbpsから9.0 Mbpsに変動する。また、サーバは配信スケジュールに従って複数のコンテンツを繰り返し配信する。このため、サーバは9.0 Mbpsの帯域幅で S_5 を配信した後に、 S_1 を5.0 Mbps、 S_2 を4.0 Mbpsの帯域幅でそれぞれ配信する。これまでに実現した選択型コンテンツの放送型配信システムでは、放送中に帯域幅を変動できず、対処する必要がある。

4.3. 対処

4.2節で述べた課題に対処するため、チャンネル間の契機を同期することで、放送中にチャンネルの帯域幅を変動できる機能を実装した。図4をもとに、チャンネル間の配信契機の同期によるCCB-CB法の配信スケジュール例を図5に示す。サーバは、 S_4 の配信開始から45秒後に C_1 におけるコンテンツの配信を中断し、 C_2 の帯域幅を4.0 Mbpsから9.0 Mbpsに変動する。このとき、サーバは、4.0 Mbpsと9.0 Mbpsの二種類の帯域幅を用いて、コンテンツの配信スケジュールを設定できる。また、サーバが9.0 Mbpsで S_5 を配信した後は、 C_1 の配信再開に合わせて C_2 の帯域幅を4.0 Mbpsに戻すことで、配信スケジュールの終了時刻を同期させる。これにより、CCB-CB法を配信システムに適用できる。

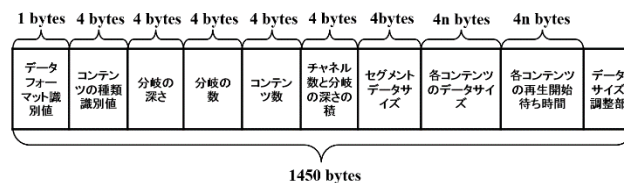


図6 配信開始部のデータフォーマット

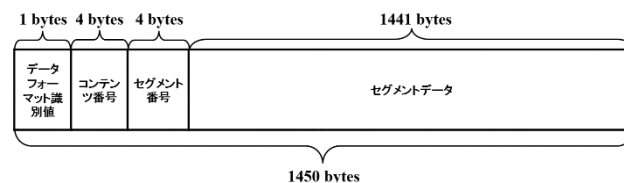


図7 情報部のデータフォーマット

5. 設計

5.1. データフォーマット

配信システムで用いるデータフォーマットは配信開始部と情報部で構成される。以下の項で順番に説明する。

5.1.1. 配信開始部

配信システムにおける配信開始部のデータフォーマットを図6に示す。 n ($1 \leq n \leq 177$) はコンテンツ数である。データフォーマット識別値は、配信開始部の識別に用いる。コンテンツの種類識別値は、クイズ番組やドラマ番組といった番組形式にもとづいた視聴順序グラフを識別するために用いる。分岐の深さは、作成する配信に用いる選択型コンテンツの視聴順序グラフの深さの値を示す。分岐の数は、分岐するコンテンツにおける選択肢の数を示す。コンテンツ数は、視聴順序グラフを構成するコンテンツの合計数を示す。チャンネル数と分岐の深さの積は、単純手法の実装において、何も放送されない時間を実現するために用いる。セグメントデータサイズは、情報部で配信するセグメントデータのサイズを示す。各コンテンツのデータサイズは、コンテンツごとのデータサイズを示す。各コンテンツの再生開始待ち時間は、配信スケジュールにもとづき、放送開始時刻から再生開始時刻までの時間を示す。末尾のデータサイズ調整部は、配信開始部であらかじめ設定したパケットサイズが情報部のパケットサイズと同じになるように調整するために用いる。本配信システムでは、配信開始部のデータサイズは合計で1450 bytesとする。

5.1.2. 情報部

配信システムにおける情報部のデータフォーマットを図7に示す。データフォーマット識別値は、情報部であることの識別に用いる。コンテンツ番号は、配信するデータがどのコンテンツであるかの識別に用いる。セグメント番号は、分割された複数のセグメントのうち何番目のセグメントであるかの識別に用いる。

セグメントデータは、セグメント番号に対応したデータの情報である。本配信システムでは、情報部のデータサイズは合計で 1450 bytes とする。

5.2. 処理手順

5.2.1. サーバ

サーバは、以下の手順に従ってコンテンツを配信する。

- (1) 配信するコンテンツのデータ情報を読み込む。
- (2) 配信開始部をクライアントに送信する。
- (3) コンテンツのデータを等分割したセグメントデータを情報部に格納し、クライアントに送信する。
- (4) すべてのコンテンツの配信が終了するまで (3) を繰り返す。

5.2.2. クライアント

クライアントは、以下の手順に従って受信処理を行う。

- (1) サーバに受信要求を送信し、データの受信を開始する。
- (2) サーバから受信したデータフォーマットに従って、受信処理を行う。
 - (A) サーバから受信したデータが配信開始部である場合、各コンテンツのデータサイズをもとにバッファ領域を作成して(3)へ。
 - (B) サーバから受信したデータが情報部である場合、セグメントをバッファ領域に格納して(3)へ。
- (3) 再生するコンテンツのデータがコンテンツの再生位置からバッファ領域に一定量格納されていれば、ブラウザを用いてコンテンツを再生する。一方、格納されていなければ、コンテンツのデータがバッファ領域に一定量格納されるまで再生を中断する。
- (4) (3)で再生したコンテンツの再生終了後、次に再生するコンテンツがあれば、(3)に戻る。次に再生するコンテンツがなければ、受信を終了する。

6. 実装

6.1. 実装内容

我々の研究グループでは、これまでに選択型コンテンツの放送型配信システム「**Contents based Broadcasting system (Corne)**」を実現してきた。本研究では、4.3 節で述べた対処を行い、CCB-CB 法を本システムに適用する。**Corne** のプログラム規模を表 1 に示す。また、**Corne** のスクリーンショットを図 8 に示す。**Corne** では、サーバとクライアントそれぞれのプログラムを C 言語で記述しており、ActionScript を用いて Web 上で動画を再生できる。再生に使用するプレイヤーは、Web 上で動作する Adobe Flash Player を用いた。

表 1 プログラム規模

使用言語	Corne (C 言語)		Corne (ActionScript)
評価環境	C コンパイラで提供されている環境		ActionScript が使用可能な環境
コード行数	サーバ	662	365
	クライアント	621	

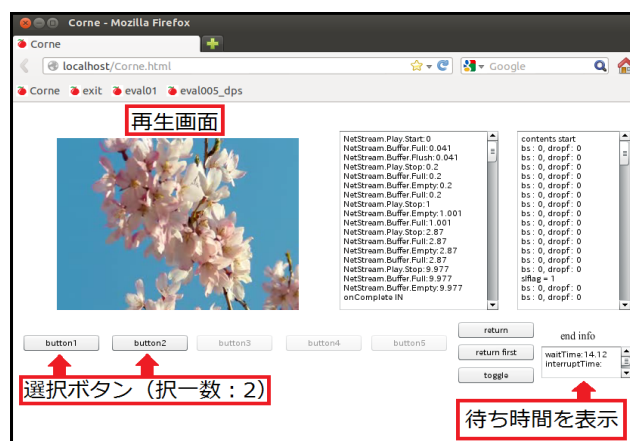


図 8 **Corne** のスクリーンショット

6.2. 想定環境

選択型コンテンツの放送型配信システム **Corne** を設計するにあたり、想定する環境を以下に示す。

- (1) 放送するデータは選択型コンテンツである。
- (2) 放送帯域は一定である。
- (3) サーバは、複数のチャネルから同時にデータを放送できる。
- (4) クライアントは、複数のチャネルから同時にデータを受信できる。
- (5) クライアントは、コンテンツの蓄積に十分な容量のバッファをもつ。
- (6) クライアントは、逐次再生を行う。
- (7) クライアントは、コンテンツの再生を開始すると最後まで途切れずに再生できる。

7. 評価

7.1. 評価環境

Corne の機能を評価するため、実際のネットワーク環境を想定したシステムを構築した。表 2 に、使用した計算機の測定環境を示す。また、図 9 に、評価環境の構成を示す。サーバ計算機とクライアント計算機は、サーバ計算機 1 台に対してクライアント計算機 1 台を Gigabit Ethernet で接続し、UDP/IP 接続を確立した。さらに、Ethernet の接続途中に帯域制御機能 Dummynet を利用できる計算機を挿入することで、さまざまなネットワーク環境を再現できる評価環境を構築した。放送型配信は一つのチャネルで複数のクライアントに配

表 2 測定環境

サーバ計算機 および クライアント 計算機	CPU	Intel®CORE™ 2 Duo CPU E7500 (2.93 GHz)
	メモリ	2.0 Gbytes
	OS	Ubuntu 10.04 LTS
	NIC	RTL8101E/RTL8102E
Dummynet 計算機	CPU	Intel®CORE™ 2 Duo CPU E7500 (2.93 GHz)
	メモリ	2.0 Gbytes
	OS	FreeBSD 8.1
	NIC	RTL8169SC

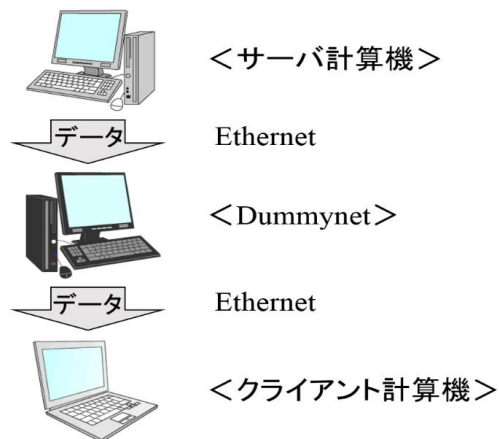


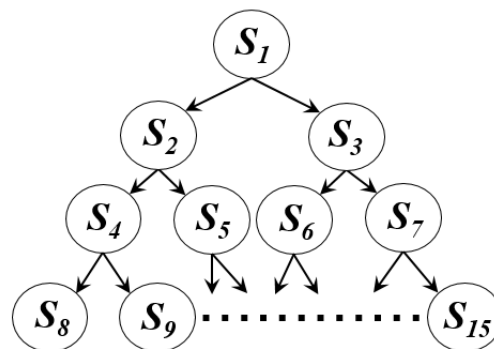
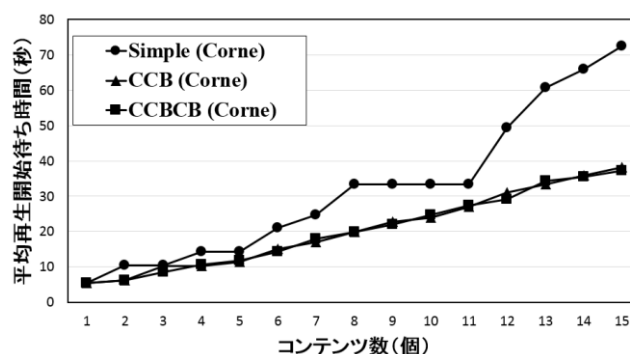
図 9 評価環境

信できるため、使用するクライアント計算機の台数による評価への影響はない。なお、Dummynet の帯域制御機能を用いるとパケットロスが生じるため、Dummynet で設定した帯域幅と実際の帯域幅は必ずしも一致しない。そこで、本研究では、単位時間当たり受信するデータ量から帯域幅を算出する。

7.2. スケジューリング手法を用いた評価

Corne では、受信要求時刻から、配信スケジュールの先頭のコンテンツ（第一セグメント）の放送開始時刻まで受信を開始できないため、コンテンツの再生開始までに待ち時間（以下、再生開始待ち時間）が発生する。再生開始待ち時間は、シミュレーション環境では発生しない。一方で、配信スケジュールにもとづいて、放送中に発生する待ち時間を途切れ時間と呼ぶ。使用する視聴順序グラフは、図 10 に示す視聴順序グラフとする。 e は択一数である。

本研究では、**Corne** 上で四つの評価を行う。一つ目は、コンテンツ数の変化による再生開始待ち時間の評価、二つ目は、コンテンツ数の変化による途切れ時間の評価、三つ目は、帯域幅の変化による再生開始待ち時間の評価、および四つ目は、帯域幅の変化による途切れ時間の評価である。これらの評価を行い、既存のスケジューリング手法である CCB 法および CCB-CB 法の有用性を確認する。

図 10 評価で使用する視聴順序グラフ ($e=2$)図 11 コンテンツ数と再生開始待ち時間 ($e=2$)

7.3. コンテンツ数と再生開始待ち時間

コンテンツ数に応じた再生開始待ち時間の変化について、**Corne** で評価した結果を図 11 に示す。横軸はコンテンツ数、縦軸は再生開始待ち時間を 10 回計測した平均値である。また、使用できる帯域幅の上限は 1.5 Mbps とし、コンテンツ数は 1 から 15 とする。

図 11 より、**Corne** で発生する再生開始待ち時間について、CCB 法と CCB-CB 法はほぼ同じであり、単純手法は他の二つの手法に比べて非常に長いことがわかる。CCB 法は、使用する帯域幅と放送時間の積を単純手法に比べて小さくすることで、再生開始待ち時間を短縮できる。CCB-CB 法は、CCB 法をもとに改良したスケジューリング手法であるが、コンテンツ数の変化による待ち時間の短縮効果は CCB 法とほぼ同様であった。また、コンテンツ数の増加にともない、単純手法で発生する平均再生開始待ち時間は、CCB 法および CCB-CB 法に比べて長くなる。これは、単純手法の使用帯域幅と放送時間の積が、CCB 法および CCB-CB 法に比べて大きくなるためである。

7.4. コンテンツ数と途切れ時間

コンテンツ数に応じた途切れ時間の変化について、**Corne** とシミュレーション環境でそれぞれ評価した結果を図 12 に示す。横軸はコンテンツ数、縦軸はすべての視聴経路で発生する途切れ時間の合計を経路数で

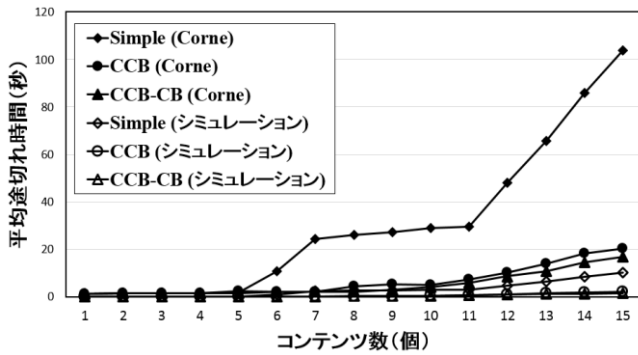


図 12 コンテンツ数と途切れ時間 ($e=2$)

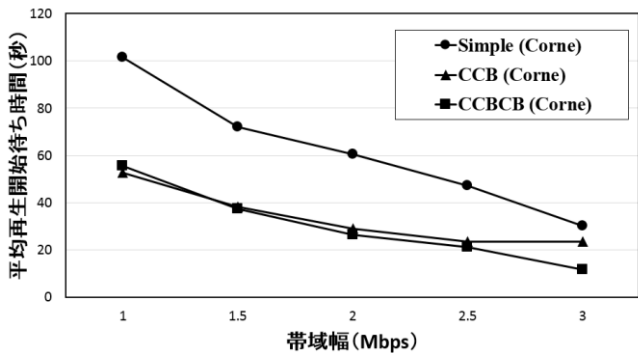


図 13 帯域幅と再生開始待ち時間 ($e=2$)

除した平均値である。また、使用できる帯域幅の上限は 1.5Mbps であり、コンテンツ数は 1 から 15 とする。

図 12 より、**Corne** で発生する途切れ時間は、シミュレーション環境より長い。これは、コンテンツ再生中に発生する処理負荷により、コンテンツ間で途切れが発生するためである。また、**Corne** において、コンテンツ数の増加にともない、CCB-CB 法の途切れ時間がもっとも短く、CCB 法、単純手法の順番で長くなる。これはシミュレーション環境においても同様であり、スケジューリング手法の有用性を示している。

7.5. 帯域幅と再生開始待ち時間

帯域幅に応じた再生開始待ち時間の変化について、**Corne** で評価した結果を図 13 に示す。横軸は帯域幅、縦軸は再生開始待ち時間を 10 回計測した平均値である。コンテンツ数は 15、帯域幅は、1.0Mbps, 1.5Mbps, 2.0Mbps, 2.5Mbps, および 3.0Mbps の 5 種類とする。

図 13 より、**Corne** で発生する再生開始待ち時間は、CCB 法と CCB-CB 法がほぼ同じであり、単純手法は他の二つの手法に比べて非常に長いことがわかる。

7.2.2 項で述べたように、CCB 法と CCB-CB 法は、使用する帯域幅と放送時間の積を単純手法に比べて小さくすることで、再生開始待ち時間を短縮できる。また、使用できる帯域幅が増加する場合、CCB 法はチャンネル数を固定するため、使用しない帯域幅が発生する。一方で、CCB-CB 法は使用できる帯域幅をすべて利用す

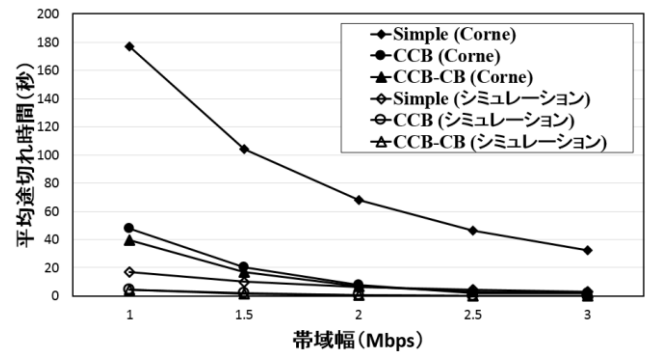


図 14 帯域幅と途切れ時間 ($e=2$)

るスケジューリング手法であるため、帯域幅が十分に大きい場合、CCB-CB 法の待ち時間は CCB 法よりも短くなる。

7.6. 帯域幅と途切れ時間

帯域幅に応じた途切れ時間の変化について、**Corne** とシミュレーション環境でそれぞれ評価した結果を図 14 に示す。横軸は帯域幅、縦軸はすべての視聴経路で発生する途切れ時間の合計を経路数で除した平均値である。また、コンテンツ数は 15、帯域幅は、1.0 Mbps, 1.5 Mbps, 2.0 Mbps, 2.5 Mbps, および 3.0 Mbps の 5 種類とする。

図 14 より、**Corne** で発生する途切れ時間は、シミュレーション環境より長い。また、**Corne** において、帯域幅の減少にともない、CCB-CB 法の途切れ時間がもっとも短く、CCB 法、単純手法の順番で長くなる。この途切れ時間の差はスケジューリングによるものである。例えば、図 14 において、帯域幅が 1.0 Mbps の場合、シミュレーション環境では CCB 法と CCB-CB 法の途切れ時間の差は 0.41 秒であるが、**Corne** では CCB 法と CCB-CB 法の途切れ時間の差は 8.0 秒である。以上より、実際のネットワーク環境で評価することで、CCB-CB 法の有用性はより明確になる。

8. 考察

8.1. Corne とシミュレーション環境の比較

Corne とシミュレーション環境それぞれの場合について、既存のスケジューリング手法の有用性を評価した。本研究では、**Corne** で発生する再生開始待ち時間や途切れ時間といった遅延時間を評価するため、シミュレーション環境ではこれらの遅延時間を考慮していない。**Corne** で算出した遅延時間をパラメータとしてシミュレーション環境に反映させることで、**Corne** に近い配信環境をシミュレーション環境で構築できる。

8.2. 途切れの発生原因

Corne において、クライアントのデータ再生時に発生する途切れの発生原因として、クライアント計算機

の処理負荷が挙げられる．具体的には，データセグメントの受信開始から再生開始までの間に発生する再生処理時間が，途切れとして発生する．また，実際のネットワーク環境では，サーバ・クライアント間の帯域幅が変動して，配信スケジュールと実際の配信状況との間でずれが発生する．このとき，クライアントがデータセグメントの再生が終了しても，次のデータセグメントの受信処理が完了せず，途切れが発生する．

9. 関連研究

9.1. 放送型配信システム

動画データの放送型配信システムとして，Telecommunication and BroadCasting System (*TeleCaS*) [7] が挙げられる．*TeleCaS* では，付加情報を考慮してデータの配信契機を同期する方式，クライアントがセグメントを途中から受信できる方式，および逐次再生に対応する方式を実現することで，データの配信時に発生する待ち時間や途切れ時間を短縮できる．

9.2. 端末間通信を用いたデータ配信システム

端末間通信を用いたデータ配信システムとして，Content Delivery System for P2P Streaming (*DeSPeRS*) [8] が挙げられる．*DeSPeRS* では，独自の通信プロトコルにもとづいて，各端末は端末間で動画データを送受信する．また，要求端末が選択した各供給端末が使用できる帯域幅を考慮したスケジューリング手法を用いて，端末間通信の性能評価を行う．

9.3. スケジューリング手法

Extended Cumulated Broadcasting (ECB)法[9] では，選択型コンテンツの放送型配信において，選択肢となる複数のコンテンツのうち一つのコンテンツを選択する確率を考慮してスケジューリングすることで，再生中の待ち時間を短縮する．また，Contents Cumulated Broadcasting - Considering Prefetching (CCB-CP) 法[10] では，CCB-CP 法は，再生レートと等しい帯域幅のチャンネルをできるだけ確保して，コンテンツを早送りで見聴する部分と通常の速度で見聴する部分の2つに分けてスケジューリングすることで，早送り再生時の待ち時間を短縮する．

10. おわりに

選択型コンテンツの放送型配信システム *Corne* において，帯域幅を考慮して待ち時間を短縮するスケジューリング手法である CCB-CB 法を実際のネットワーク環境で評価するための課題に対処し，設計および実装を行った．実現方式では，CCB-CB 法の設計で課題となるコンテンツ配信中の帯域幅の変動に対処し，*Corne* に実装した．また，単純手法，CCB 法および CCB-CB 法を用いた *Corne* の性能評価では，いずれの

評価においても，CCB 法，および CCB-CB 法の再生開始待ち時間と途切れ時間は単純手法に比べて短いことを示した．また，複数の評価結果をもとに，CCB-CB 法は優れたスケジューリング手法であることを示した．

残された課題として，実際のネットワーク環境での問題点を考慮した *Corne* の改良，および既存のスケジューリング手法の適用による *Corne* の性能評価が挙げられる．

謝 辞

本研究の一部は，JSPS 科研費 26730059, 15H02702, (公財ウエスコ学術振興財団，ならびに総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) による成果である．ここに記して謝意を表す．

参 考 文 献

- [1] 総務省，情報通信白書平成 27 年版，総務省 (オンライン)，入手先〈<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/index.html>〉，参照 2016-01-08
- [2] 藤田拓郎，後藤佑介，“スケジューリング手法を用いた選択型コンテンツの放送型配信システムの実現と評価”，第 14 回情報科学技術フォーラム (FIT2015)，第 4 分冊，pp.5-12, 2015.
- [3] Juhn, L.-S. and Tseng, L.M., “Fast Data Broadcasting and Receiving Scheme for Popular Video Service”, IEEE Trans. Broadcasting, Vol.44, No.1, pp.100-105, 1998.
- [4] Paris, J.-F., “An Interactive Broadcasting Protocol for Video-on-Demand”, IEEE Int. Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC '01), pp.347-353, 2001.
- [5] 義久智樹，金澤正憲，“選択型コンテンツの放送型配信におけるスケジューリング手法”，情報処理学会論文誌，Vol.47, No.12, pp.3296-3307, 2006.
- [6] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Kanazawa, M., and Takahashi, Y., “A Broadcasting Scheme for Selective Contents Considering Available Bandwidth”, IEEE Trans. Broadcasting, Vol.55, Issue 2, pp.460-467, 2009.
- [7] 木村明寛，後藤佑介，谷口秀夫，“動画データを分割配信するシステムの実現と評価”，電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J96-B, No.10, pp.1217-1225, 2013.
- [8] 後藤佑介，鈴木健太郎，義久智樹，谷口秀夫，金澤正憲，“再生中断時間短縮のための端末伝送型インターネット放送システムの設計と実装”，電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J93-D, No.7, pp.1102-1113, 2010.
- [9] 後藤佑介，義久智樹，金澤正憲，高橋豊，“選択確率を考慮した選択型コンテンツの放送型配信における待ち時間短縮手法”，情報処理学会論文誌，Vol.50, No.2, pp.882-892, 2009.
- [10] Gotoh, Y., Yoshihisa, T., Taniguchi, H., Kanazawa, M., Rahayu, W., and Y.P.P. Chen., “A Scheduling Method for Selective Contents Broadcasting with Fast-forwarding”, 2nd International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems (SMDMS 2011), pp.344-349, 2011.